من اصدارات شبكة الفيزياء التعليمية

سلسلة تبسيط الفيزياء

مقدمة مختصرة حول فيزياء الجسيمات

الدكتور حازم فلاح سكيك

أستاذ الفيزياء المشارك

في جامعة الأزهر - غزة



شبكة

الفيزياء التعليمية

www.hazemsakeek.net

مقدمة مختصرة عن فيزياء الجسيمات

إعداد

دكتور حازم فلاح سكيك

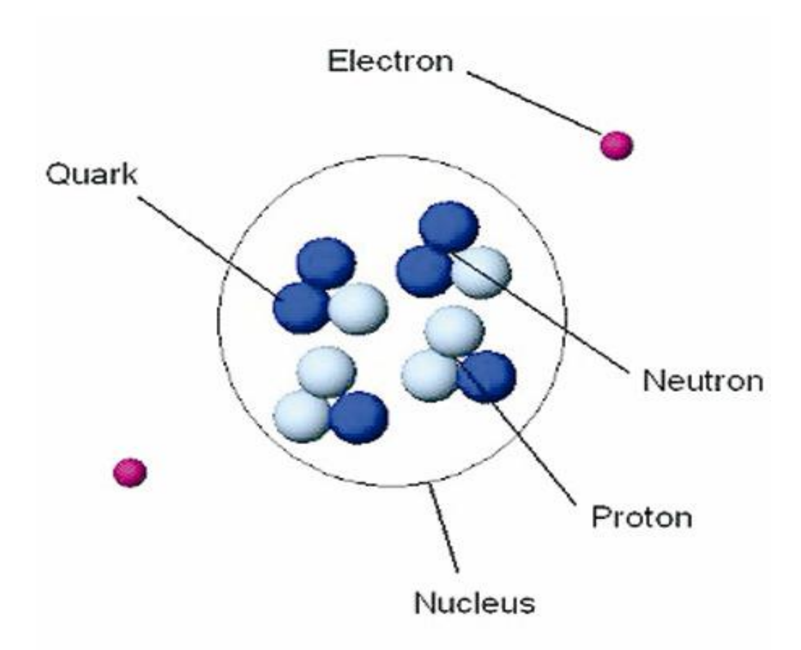
www.hazemsakeek.net

مقدمة مختصرة عن فيزياء الجسيمات

ما هي فيزياء الجسيمات؟

يرد ذكر البروتونات والإلكترونات والنيوترونات والنيوترينو وحتى الكواركات كثيرا في أخبار الاكتشافات العلمية. كل هذه الجسيمات والمجموعة الكاملة للجسيمات الاخرى، هي عبارة عن جسميات ذرية صغيرة جدا لا ترى حتى بالمجاهر الالكترونية. في حين ان الجزئيات والذرات هي العناصر الأساسية للمواد المألوفة التي يمكن ان نراها أو نشعر بها، ولكن هنا علينا ان ننظر داخل الذرات للحصول على معلومات حول هذه الجسيمات الأولية الدقيقة للذرة لفهم طبيعة الكون الذي نعيش فيه. العلم الذي يدرس هذا المجال يعرف باسم فيزياء الجسيمات، أو الجسيمات الاولية أو في بعض الاحيان فيزياء الطاقة العالية HEP وهي اختصار لـ High Energy Physics.

لقد افترض وجود الذارت من زمن بعيد بواسطة الفيلسوف الاغريقي ديموغرس، وحتى بدايات القرن العشرين، وقد اعتقد ان الذرات هي وحدة البناء الاساسية للمواد والعناصر. وجاءت البروتونات والنيوترونات والالكترونات كمكونات أساسية عندما اكتشفت في مطلع القرن العشرين بواسطة التجارب التي اجراها العالم رزرفورد واخرون حيث اكتشفوا ان الذرات معظمها فراغ والالكترونات تحيط بنواة مركزية ذات كثافة عالية من البروتونات والنيوترونات.



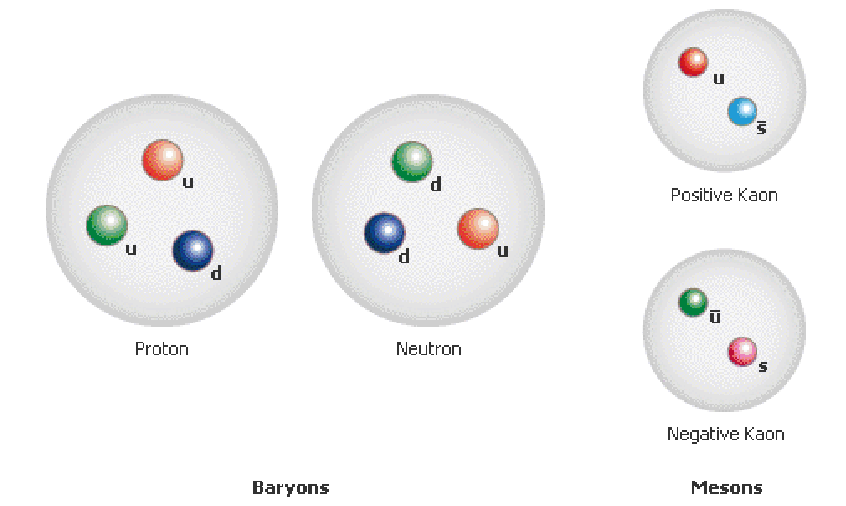
داخل النواة: الوسط يعرف بالنواة وتحتوي على البروتونات والنيوترونات والتي هي تتكون من كواركات. سحابة الالكترونات تحيط بنواة الذرة.

حدث تقدم كبير في مجال علم الفيزياء الجسيمية باختراع معجلات الجسيمات التي تعجل البروتونات والالكترونات إلى طاقات عالية جدا وتصدمهم في النواة وقد ذهل العلماء من تولد الكثير من الجسيمات الجديدة التي نتجت عن التصادمات تلك.

في مطلع العام 1960، تمكنت المعجلات من الوصول إلى طاقات عالية جدا تم من خلالها اكتشف المئات من انواع الجسيمات الجديدة. هل هذه الجسيمات هي جسيمات أولية؟ عمت الفوضى الوسط العلمي حتى اصبح واضحا في نهاية القرن الماضي، من خلال سلسلة تجارب طويلة ودراسات نظرية كثيرة، انه يوجد مخطط بسيط لمجموعتين اساسيتين

من الجسيمات الاولية هي الكواركات *quarks* والليبتونات *leptons* (من بين الليبتونات الإلكترونات والنيوترونات)، ومجموعة من القوة الاساسية التي تمكن هذه الجسميات من التفاعل مع بعضها البعض. بطريقة يمكن ان نعتبر بها هذه القوى تنتقل من خلال تبادل الجسيمات تعرف باسم البوزونات المقياسية *gauge bosons*. ومثال على ذلك الفوتون، وهو الجسيم الذي يحمل طاقة الضوء المكممة والتي تنتقل من خلال القوى الكهرومغناطيسية التي نشاهدها في كل يوم.

مع بعض هذه الجسيمات الاولية تشكل العديد من المجموعات التي نشاهدها في حياتنا اليومية مثل البروتونات والنيوترونات وكل الجسيمات الاولية التي شوهدت في تجارب المعجلات. وعلينا ان نذكر هنا ان كل هذه المجموعات من الجسيمات *particles* تشمل ايضا على مضادات الجسيمات *anti-particles*، أو بمعنى اخر ما يعرف بالمكملات المتضادة complementary opposites؟ وهذه التي تكون المادة *matter* ومضاد المادة *anti-matter*.



المادة مكونة من جسيمات دقيقة تعرف باسم الكواركات. الكواركات تأتي بأنواع ستة مختلفة، الاعلى (u) والاسفل (d) والساحر (c) والغريب (s) والفوقي (t) والسفلي (b). الكواركات ايضا تمتلك مضاد لها تعرف باسم الكواركات المضادة (وتميز بخط اعلى الرمز الذي يعبر عنها). تندمج الكواركات لتكون جسيمات تعرف باسم الباريونات baryons ، والكواركات ومضادات الكواركات تتحد وتكون الميزونات mesons. البروتونات والنيوترونات، جسيمات تكون نواة الذرات، وهي امثلة على الباريونات. ومن امثلة الميزونات الكاونز kaons الموجب والسالب.

اليوم، النموذج القياسي Standard Model هو النظرية التي تصف دور هذه الجسيمات الاولية والتفاعلات بينها. ودور علم فيزياء الجسيمات الأولية هو فحص واختبار هذا النموذج بكل الطرق الممكنة، للبحث عن اكتشاف شيء اكثر يقع خلف هذا النموذج. وفيما يلي سوف نقوم بوصف هذا النموذج القياسي ومزاياه البارزة.

ماذا عن طبيعة الكون الذي نعيش فيه؟



صورة التقطها تلسكوب هابل للمجرات في الكون الفسيح

هنا نعرض فهمنا الحديث بإيجاز. يعتقد العلماء ان الكون بدأ مع الانفجار العظيم Big Bang، مع طاقة هائلة ودرجة حرارة مركزة في حيز صغير جدا. بعدها مباشرة بدأ الكون بالتمدد بمعدل كبير وبعض الطاقة تحول إلى ازواج من الجسيمات ومضادات الجسيمات لها كتلة (تذكر معادلة اينشتين $E=mc^2$). وفي الجزء الصغير من الثانية الاولى، تواجد خليط من الاشعاع (الفوتونات بطاقة نقية) والكواركات والليبتونات ومقياس البوزونات. وفي خلال المرحلة ذات الكثافة العالية، تصادمت الجسيمات ومضاداتها وافنت بعضها البعض محررة فوتونات، مخلفة جزء ضئيل من المادة تنتقل في الكون. وكلما تمدد الكون بسرعة، في أجزاء من الثانية انخفضت درجة حرارته إلى حوالي 100 بليون درجة، وبدأت الكواركات بالتجمع مع بعضها البعض لتكون بروتونات ونيوترونات والتفت حولها الالكترونات ونيوترينو وفوتونات في صورة حساء من الجسيمات. ومن هذه النقطة لم يكن

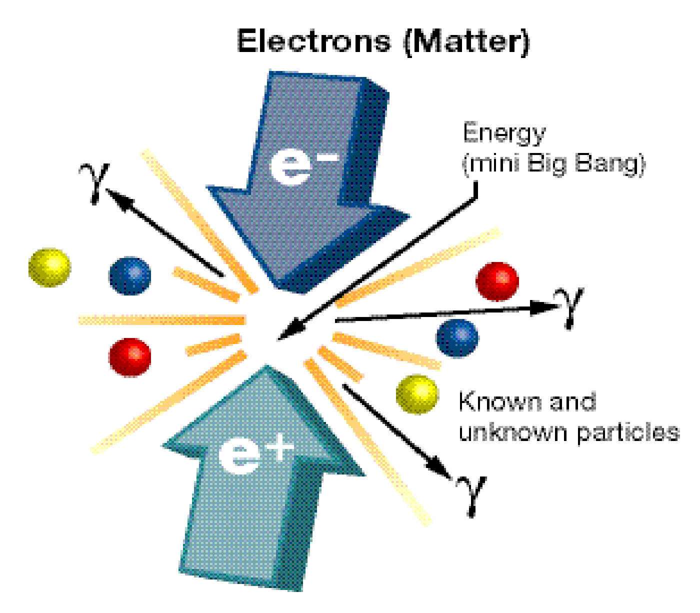
هناك أي كواركات حرة. في الثلاثة دقائق التالية او اكثر بقليل برد الكون لبليون درجة، مما سمح للبروتونات والنيوترونات بان تتجمع مع بعضها البعض وتكون أنوية العناصر الخفيفة مثل الديتيريوم والهيليوم والليثيوم. بعد حوالي 300 الف سنة برد الكون بما فيه الكفاية (الى بضع مئات من درجات الحرارة) مما سمح الالكترونات الحرة ان تصبح مرتبطة بالأنوية الخفيفة وبهذا تكونت اول الذرات. الفوتونات والنيوترونات الحرة استمرت في انسيابها في الكون، لتقبل وتتفاعل بشكل او باخر مع الذرات في المجرات والنجوم ومعنا ايضا!

لقد رأينا الان انه لكي نفهم كيف تكون الكون فإننا في الحقيقة نحتاج إلى فهم سلوك الجسيمات الأولية: الكواركات والليبتونات، ومقياس البوزونات؟ هذه هي المكونات التي صنعت منها كل المواد المعروفة في هذا الكون الذي نعيشه.

ابعد من ذلك، فان الكون يخفي علينا اسرارا لا نزال نجهلها على الاقل اثنين منها: وهي المادة المعتمة *Dark Matter* والطاقة المعتمة *Dark Energy*! حيث ان الكمية الكلية للمادة المضيئة (مثل النجوم وغيرها) ليست كافية لشرح وتفسير الجاذبية الكلية التي نلاحظها للمجرات وبعض الاجرام السماوية للمجرات. بعض من هذه المواضيع الغامضة هو المادة المعتمة يجب ان توجد. وفيما يلي سوف نرى كيف ان انواع جديدة من الجسيمات يمكن ان تكتشف لتلائم هذا الوصف. دليل حديث بين ان تمدد الكون يتزايد بدلا من ان يتناقص يؤدي الى استنتاج ان الطاقة المعتمة الغامضة يمكن ان تكون هي المسؤولة عن ذلك. ربما بعض الاشكال الجديدة للتفاعل مسؤولة عن هذا.

كيف سندرس الجسيمات الاولية الان وهي لم تعد حرة؟

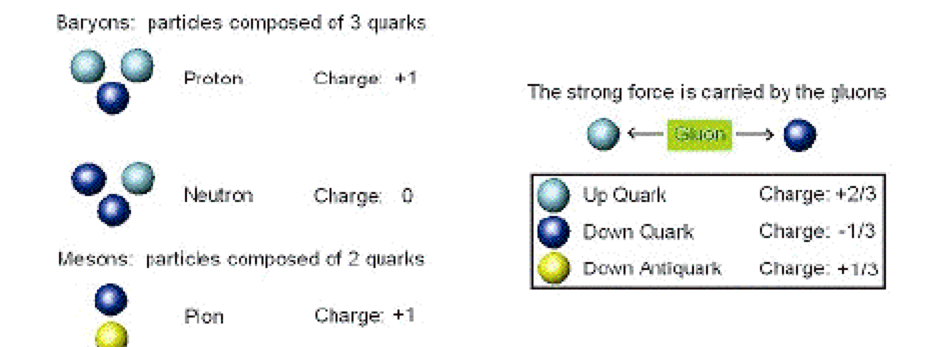
تماما مثل ما حدث في الانفجار العظيم، اذا تمكنا من ان نوفر درجة حرارة عالية جدا، يمكن ان نكون زوج من الكواركات ومضاد الكواركات، بواسطة تحويل الطاقة إلى مادة. (الجسيمات ومضاداتها يجب ان تتكون من ازواج للمحافظة على الشحنة وكمية الحركة الخ).



عندما تتصادم جسيمات المادة ومضاداتها مع بعضها البعض فإنها تصنع ظروفا مشابهة لتلك التي وجدت في الجزء الاول من الثانية بعد حدوث الانفجار العظيم.

وهنا يأتي دور معجلات الطاقة العالية. في التصادمات المباشرة بين الجسيمات التي تمتلك طاقة عالية مع مضاداتها، ينتج طاقة كاملة في انفجار صغير عندما تتلاشي تلك الجسيمات مع مضاداتها وتختفي. هذه الطاقة تظهر مرة اخرى في صورة جسيمات اولية، مثل ازواج من الكواركات ومضاداتها، أو من ازواج من الإلكترونات والبوزيترونات الخ. الان الالكترونات والبوزيترونات يمكن ان تلاحظ كجسيمات منفصلة. ولكن الكواركات ومضاداتها تتصرف مثل نهايتي حبل ويمكنك قطع الحبل وتحصل على حبلين منفصلين ولكن لا يمكنك ابدا ان تقطع الحبل وتحصل على نهايتين منفصلتين. الكواركات الحرة لا يمكن ان تلاحظ!

وعليه عندما ينتج كواك ومضاد الكوارك في تصادم مباشر مع طاقة اضافية (أي ان $E > 2m_q c^2$) فان الكوارك ومضاده سوف ينطلقان في اتجاهين متعاكسين حتى ينقطع الحبل إلى جزئيين وكل جزء من الزوج يجد نفسه مرتبط مع كوارك اخر. وعندما نلاحظ زوج من الميزونات قد انتج فان كل ميزون يحتوي على كوارك ومضاده مرتبطين مع بعضهما البعض. وبتوفر طاقة اضافية، تنتج مجموعات من الكواركات ومضاداتها: بروتونات ونيوترونات وجسيمات ثقيلة تصنف تحت اسم البيرونات. هذه الميزونات والبيرونات تكونا حديقة من الجسيمات التي اكتشفت من قبل. وما وجدناه حتى الان هو انه لدراسة الكواركات يجب علينا ان ننتجهم في تصادمات عالية الطاقة، ولكن لكن سوف نلاحظهما في صورة ميزونات وباريونات. وعلينا ان نستخلص خصائص الكواركات المنفصلة من خلال دراسة اضمحلال وتفاعلات هذه الميزونات والباريونات.



الباريونات والميزونات تحتوي على مجموعة من الكواركات ومضادات الكواركات

النموذج القياسي Standard Model

يعتقد علماء فيزياء الجسيمات الان انه بإمكانهم وصف سلوك كل الجسيمات الأولية داخل نطاق نظرية واحدة تعرف باسم النموذج القياسي Standard Model، تشمل الكواركات والليبتونات وتفاعلاتهم خلال القوى الضعيفة والقوية والقوى الكهرومغناطيسية. قوة الجاذبية هي فقط التي لا توصف بالنموذج القياسي.

النموذج القياسي هو ثمرة نتاج العديد من السنوات من التجارب البحثية والافكار النظرية والمناقشات العلمية. ويمكن تلخيصها على هذا النحو: **كل المواد المعروفة في الكون اليوم صنعت من الكواركات والليبتونات، وتماسكت مع بعضها البعض بواسطة القوى الاساسية التي تمثل بالتبادل بين الجسيمات التي تعرف باسم البوزونات المقياسية *gauge bosons*.**

احد المبادئ الاساسية التي ادت إلى الافكار الحالية عن طبيعة الجسيمات الاولية كان مبدأ التماثل. الطبيعة تشير إلى طريق الكثير من المبادئ من خلال العديد من التماثلات.

الكواركات Quarks

تم اقتراح مخطط الكوارك بواسطة التماثلات التي تترتب فيها مجموعات الميزونات والباريونات. الفيزيائيون النظريون مثل Gell-Mann وZweig افترضا وبشكل منفصل في العام 1964 ان ثلاثة مكونات اساسية (وثلاثة مضادات لها) تتجمع بطرق مختلفة طبقا لقواعد التماثلات الرياضية يمكن ان تشرح كل تراكيب الجسيمات. وقد اطلق Gell-Mann على هذه التراكيب اسم الكواركات *quarks* ، والثلاثة انواع هي العلوي والسفلي والغريب. ومن المركبات التي تتكون من الكواركات البروتونات والنيوترونات التي اصبحت واضحة في اواخر الـ 1960 و1970. في العام 1974، اكتشف جسيم غير متوقع في مركز المعجل الخطي في ستانفورد SLAC (Stanford Linear Accelerator Center). وقد اعطي اسم *J/Psi*، لأنه اكتشافه جاء متزامنا بواسطة فريقين بحثيين! الجسيم *J/Psi* فيما بعد اظهر انه يرتبط بحالة مختلفة تماما عن زوج الكوارك ومضاد الكوارك، والتي بالرغم من ذلك تم توقعها بناء على ظاهرة خفية. الكوارك الرابع سمي الساحر (وهنا لا نود ان نعلق عن اسباب اختيار هذه التسميات!)

مخطط الكوارك الرابع توسع ليشمل 6 حالات المعروفة الان بإضافة زوجين جديدين، بواسطة التوقعات النظرية التي قام بها الفيزيائي النظري Cabbibo بشكل مستقل، وكلا من Kobayashi وMaskawa (باسم مشترك يجمع اول حرف من كل عالم على النحو

CKM). وبالتالي الان لدينا ستة كواركات هي الفوقي والتحتي والغريب والساحر والسفلي والعلوي وكل واحد له مضاد. الكواركات عادة ما يرمز لها بالاحرف ***u, d, s, c, b, t***. وبتراكيب مختلفة تتكون كل الميزونات والباريونات التي تم اكتشافها. تحقق توقعات وجود الكواركات الستة عندما اكتشف في العام 1977 ميزون ثقيل يعرف باسم *Upsilon* في مختبر فيرمي وعرف بعد ذلك انه مرتبط بحالة زوج من الكوارك السفلي ومضاد الكوارك السفلي. الميزون B، يحتوي على مضاد كوارك سفلي وكوارك فوقي او كوارك تحتي وقد اكتشف بواسطة تجربة CLEO في Cornell في العام 1983. وفي النهاية في العام 1998، دليل قوي على وجود كوارك علوي ثقيل تم الحصول عليه في مختبر فيرمي.

الليبتونات Leptons

ماذا عن الليبتونات؟ فقط الالكترون والميون والنيترينو عرفت قبل العام 1960. وهذه لها سلوك مختلف عن الميزونات والباريونات. في البداية، هم اقل كتلة. فكتلة الالكترون حوالي 2000 مرة اقل من كتلة البروتون. النيوترينو تقريبا لا يمتلك كتلة، وحتى وقت قريب كان الاعتقاد السائد ان كتلة النيوترينو تساوي صفر. وعليه جاء الاسم ليبتونات او الجسيمات الخفيفة. ثانيا، يتفاعل الالكترون والميون مع المادة من خلال الشحنة التي يمتلكها، النيتوترينو متعادل كهربيا. كل الليبتونات تتفاعل تفاعلا ضعيفا مع نواة المادة وفي تصادمات الطاقة العالية، ولا تنتج بشكل كبير ميزونات جديدة وباريونات مثلما تفعل البروتونات والنيوترونات عندما تتصادم مع النواة. في العام 1962، التجربة الاولى التي

استخدم فيها شعاع نيوترينو عالي الطاقة بينت ان الالكترون يمتلك الكترون-نيوترينو، والميون يمتلك ميون-نيوترينو مختلف. وكانت هذه الدليل الاول لإمكانيه وجود عائلات أو اجيال من ازواج الجسيمات الاولية. هذه الملاحظة تم التوسع فيها في العام 1974، بعد اكتشاف الليبتون الثقيل *J/Psi*، والذي يعرف باسم تاو tau، والذي يمتلك كتلة تعادل ضعفي كتلة البروتون، ولكن له سلوك مشابه اللبتونات الأخرى، يشارك خواص التفاعل الضعيف! وهذا كان اول دليل ان ثلاثة ازواج او عائلات الليبتونات موجودة: الإلكترون والالكترون-نيوترينو، والميون-النتيوترينو والتاو والتاو-نيوترينو.

ملاحظة على الكتل والطاقات: تم تزويد قيم الكتل بدلالة كتلة البروتون. ولان الطاقة ترتبط بالكتلة من خلال المعادلة $E=mc^2$ فان كتلة البروتون تعطى بوحدة الطاقة وتساوي 938 MeV (مليون الكترون فولت)، الطاقة اللازمة لتكوين البروتون، او بشكل تقريبي 1 GeV (مليار الكترون فولت)، والذي سوف يستخدم فيما بعد كوحدة للطاقة ايضا.

الكواكات والليبتونات تمتلك عزم زاوي يعرف باسم الغزل spin، ويساوي1/ 2 وحدة اساسية تسمى فيرميون fermions. الجسيمات التي لها عزم زاوي يساوي صفر او عدد صحيح تعرف باسم بوزونات bosons.



QUARKS	(u) up-quark mass = 0.005 (d) down-quark mass = 0.009	(c) charm-quark mass = 1.5 (s) strange-quark mass = 0.16	(t) top-quark mass = 186 (b) bottom-quark mass = 5.2	Charge = +2/3 Charge = -1/3
LEPTONS	(ν_e) elec-neutrino mass ~ 0 (e) electron mass = 0.00054	(ν_μ) muon-neutrino mass ~ 0 (μ) muon mass = 0.11	(ν_τ) tau-neutrino mass ~ 0 (τ) tau mass = 1.9	Charge = 0 Charge = -1

الجدول 1: عائلات الكواركات والليبتونات. كل الكتل معطاه بالنسبة إلى كتلة البروتون، والتي تساوي 938 MeV. كل ما هو في الجدول يمتلك غزل (عزم زاوي) يساوي ½ وحدة.

على كل حال، السؤال الاساسي لا يزال قائما: **لماذا هذه الكواركات والليبتونات، بشحنات وخصائص تفاعل مختلفة. لماذا يوجد ثلاثة اجيال والكثير من الكتل المختلفة؟**

القوى والتفاعلات

يجـب علينـا الآن أن نعـالج القـوى الأساسـية والتفـاعلات الموجـودة بـين الكواركـات واللبتونات المتمثلة في قوة التجاذب، القوى الضعيفة، القوى الكهرومغناطيسية والقـوى القوية. ويتحكم في الكون كل من قوى التجـاذب والقـوى الكهرومغناطيسـية. أمـا عـن القوى القوية فتربط بين الكواركات مـع بعضـها الـبعض والتـي تحمـل مكونـات النـواة (البروتونات و النيوترونات) أما عـن القـوى الضـعيفة فهـي المسـؤولة عـن اضـمحلال الإشعاع الناتج من عدم استقرار النواة وتفاعلات النيوترونات مع اللبتونات في المادة.

القوة الفعلية للقوى يمكن مقارنتها بالقوة القويـة *strong*، والتـي هنـا يمكـن اعتبارهـا وحدة القوة (على سبيل المثال = 1). في هذه الحالة فإن القـوى الكهرومغناطيسـية تكـون شدتها الفعلية (1/ 137). أما القوى الضعيفة فتكـون أقـل ببلايـين المـرات مـن القـوى القوية. والأضعف منهم جميعا هي قوة التجاذب. يبدو ذلك غريبا حيث أن قوى التجاذب قوية بشكل كافٍ لتحمل كتلة الأرض والكواكب في مدارها حول الشمس. وكما نعلم أن قوى التجاذب بين جسمين كتلتاهما M، m ويفصل بينهما مسافة r تتناسـب طرديا مـع حاصل ضرب الكتلتين وعكسيا مع مربع المسافة بينهما.

$$F_G = \frac{GMm}{r^2}$$

من هنا يتضح لنا ما هو المقصود بالقوة الفعلية والتي يمكن أن تعطى بثابت الجذب العـام في هذه الحالة G والذي يعتمد عـلى الكتـل والمسـافات. وكـذلك الحـال بالنسـبة للقـوى الكهرومغناطيسية بين الجسيمات فإنها تتناسب طرديا مع حاصل ضرب الشحنتين (q،Q) وعكسيا مع مربع المسافة بينهما r.

$$F_{em} = \frac{\alpha Q q}{r^2}$$

ولكن هنا ثابت الجذب العام هو ألفا α والذي يعبر عن القـوة الفعليـة، وحسـاب القـوة النسبية لتنافر القوى المغناطيسية وقوى التجاذب بين بروتونين بوحدة الشحنة عن طريـق المعادلتين السابقتين نجدها 10^{36}، لذلك فإن البروتـونين سـوف يتنـافران ويبتعـدان عـن بعضهما، وبسهولة يمكن التغلب على قوى التجاذب الضعيفة.

مما سبق يمكننا أن نعبر عن القوى عن طريق نظرية تنتج مـن التغـير في نوعيـة الجسـيمات تسمى البوزونات المقياسية *gauge bosons*. وهي عبارة عن كم من (مجال القوة).

وعندما تكون الفوتونات حقيقية (كماً من الضوء) وتكـون في حالتهـا المشـعة (متحركـة) الناتجة من تسارع وتباطؤ الجسيمات فيمكن أن تنـتج بوزونـات أخـرى (كـما في الجـدول) ويمكن ملاحظتها كجسيمات حقيقية. إن جميع البوزونـات لهـا غـزل spin إمـا صـفر أو أعداداً صحيحة.

FORCE	Relative Strength	Gauge Boson	Mass (rel. to proton)	Charge	Spin
Strong	1	Gluon (g)	0	0	1
Electromagnetic	1/137	Photon (γ)	0	0	1
Weak	10^{-9}	$W^{\pm}, Z$	86, 97	± 1, 0	1
Gravity	10^{-38}	Graviton (G)	0	0	2

جدول 2: يوضح القوى وكم هذه القوى بالبوزونات، وتقاس الشحنة هنا بشحنة الإلكترون.

ويطلق على حاملات القوى القوية لفظ الغلونات *gluons*، والغلو *glue* يحافظ على بقاء الكواركات مع بعضها البعض في البروتونات والنيوترونات كما يساعد على تكون النـواة. أما حاملات القوى الضعيفة فتنتج من ثلاثة مكونات، وتسمى بوزونات ضـعيفة: وهـي $W^{\pm}$ و Z^{0}. ويطلق عليها اسم جرافيتونات *gravitons* والتي لها غزل spin =2.

التوحيد Unification

بالنسبة لنظرية الكون، اعتبار وجود أربع قوى يعد كبيرا، لماذا لا تكون هنـاك فقـط قـوى كونية واحدة؟ فقد دأب العلماء لعقود مضت إلى توحيد هذه القوى الأربع في قوة واحدة، على الأقل تلك التي وجدت في المرحلة الأولية للكون. إن القوى الأربـع التـي نلاحظهـا اليوم هي في الأساس جزء من قوة أساسية واحدة، مع ذلك لا يمكننا أن نغفل أن وجودنا يعتمد على وجود الأربع قوى. فلو لم تكن قوى الجاذبية ضعيفة جداً، لوجد فقـط ثقـوب سوداء ضخمة في المجرات، النجوم و الكواكب. ولو لم تكن القـوى المغناطيسـية تتـوازى بدقة مع القوى القويـة، فـإن النـواة سـوف تـتحطم، مـا يعنـي لا ذرات، لا جزيئـات في الكيمياء وعلم الأحياء. إن القوى الضعيفة ينتج عنها ظواهر دقيقـة، فـالاحتراق البطـيء لنجوم مثل شمسنا لا يمكن أن يحدث بدون التفاعلات الضعيفة، وانفجارات السوبرنوفا والتي نتج عنها كل العناصر الأثقل مـن الحديـد تعتمـد كـذلك عـلى التفـاعلات القويـة للنيوترون، وإشعاعها في باطن الأرض لإبقائه دافئاً.

وليس من المعقول أن تخص أربع نظريات مختلفـة لحسـاب هـذه القـوى. فـيمكن تفسـير التفاعلات الكهرومغناطيسية للجسيمات على أساس النظرية الكمية الحديثة Quantum

Electrodynamics (*QED*).أما التفاعلات الضعيفة فلها نظريتها الخاصـة ،لكـن تـم جمـع هـذه القـوي في نظريـة واحـدة هـي نظريـة القـوى الكهرومغناطيسـية الضـعيفة Electroweak Theory في النمـوذج القيـاسي Standard Model. أمـا التفـاعلات القوية بين الكواركات والغلونات فلها نظريـة أخـرى تسـمى النظريـة الكميـة الصـبغية Quantum Chromodynamics (*QCD*)، وذلـك لأن التعـادل في الشـحنات يطلـق عليه (لون). وتفسر النظرية النسـبية العامـة لأينشـتاين أن قـوى التجـاذب هـي ظـاهرة هندسية في الزمكان space-time.

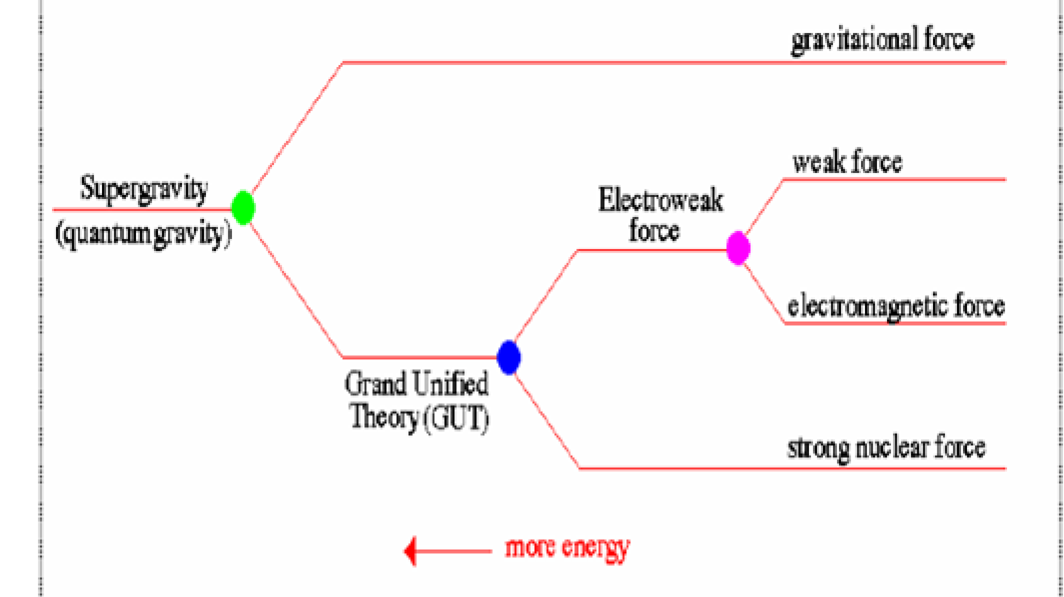
كما أظهـر ماكسـويل Maxwell أن القـوى الكهربيـة والمغناطيسـية لهـما نفـس الظـاهرة الأساسـية والتـي عرفـت بالكهرومغناطيســية. ونظريــة القــوى الكهربيــة الضــعيفة *Electroweak* والتي حاز فيها كل من جلاشو Glashow وسلام Salam ووانيربيرج Weinberg عــلى جــائزة نوبــل في عــام 1979 نجحــت في توحيــد التفــاعلات الكهرومغناطيسية مع القوى الضعيفة في نظرية أطلق عليها*Electroweak* .وكما نلاحظ أن القوة الفعلية لقوى التفاعلات المختلفة الأربـع في جـدول 2، أغفلنـا أن هـذه القـوى تعتمد على درجة الحرارة والتفاعلات بين مستويات الطاقة. بـالرغم مـن أن هـذه القـوى تختلف نوعيا في وجود درجة الحرارة (على سبيل المثـال عنـد 300K أو مـا يعادلهـا مـن الطاقة حوالي 1/40eV)، إن التفاعلات الضعيفة تعتمد بقوة على الطاقة فعند تصـادمات عند حوالي 1000GeV فقط تكـون قويـة كفايـة لتصـل إلى القـوى الكهرومغناطيسـية. وتفسر نظرية *Electroweak* هذا كله في النموذج القياسي. والمعادلات الأساسية متماثلـة في أن كلا التفاعلين موجودان وأن كتل جميع الكـمات تسـاوي الصـفر. وعنـد انخفـاض

درجة الحرارة فينتهي هذا التماثل وتنفصل الكمات إلى أربع بوزونات مختلفة الكتـل: W^+ و W^- (كلاهما 80GeV)،والكتلة Z^0(91GeV) وفوتون g كتلته تساوي صفر.

في درجة حرارة الغرفة فإن الكتل W وZ لا تلعب دوراً هاما، لكن عند طاقة عاليـة جـداً 300GeV أو أكثر فإن الفرق بين كتلة الصفر للفوتون والأثقل البوزونات W،Z يـزول، وتكون جميعها متساوية في القوة. في عام 1983 البوزون W والبوزون Z تم اكتشـافهم في مختبر سيرن CERN في جينيف، عند تصادمات طاقـة عاليـة للبروتونـات والبروتونـات المضادة، وتم توقـع كتلتـيهما وعنـدها بـدأ النمـوذج القيـاسي Standard Model يشـق طريقه.

التوحيد unification

كل القوى في الطبيعة يمكن وصفها بنظرية واحدة. ولكن عند الطاقات العالية فقط يكون سلوك القوى متحدا، وهذا ما يعرف باسم التوحيد unification



قبل نقطة التوحيد، كل القوى غير مميزة وتمتلك تماثل. بعد نقطة التوحيد، القوى تتصرف بشكل مختلف والتماثل يختل

وبعد كل ذلك ما زال جزء مفقود لم يعثر عليه بعد كدليل، وكما ذكرنا فإن نظرية electroweak عند انخفاض درجة الحرارة وانفصال القوى تكسب البوزونات كتلتها. والمسبب لهذا هو مجال جديد يسمى مجال هيجز *Higgs field*، ولنا أن نتصور كيف يحدث ذلك، يجب أن تعلم أن الكتلة الظاهرة هي نتيجة للقصور الذاتي ومقاومة التسارع. فإذا كان مجال هيجز *Higgs field* يتخلل فجأة كل الفضاء وأن الكون يبرد، وان يكون بمثابة سحابة على كل الجسيمات التي تتحرك في الفضاء، وتعتمد السحابة على

كيفية تفاعل كل جسيم مع مجال هيجز *Higgs field*، وتظهر هذه السحب القصور الذاتي وبالتالي قابلية قياس كتلة الجسيمات والتي كانت أساساً عديمة الكتلة. والآن يجب أن نبحث عن البوزون الذي يحمل هذه المجال – بوزون هيجز *Higgs boson*. والذي يعتبر من أهم ما يميز النموذج القياسي Standard Model لحسم الأمر. ومن المتوقع أن يمتلك كتلة تقدر بحوالي 100GeV. للوصول إلى أكبر المسارعات في المستقبل القريب.

ما وراء النموذج القياسي؟

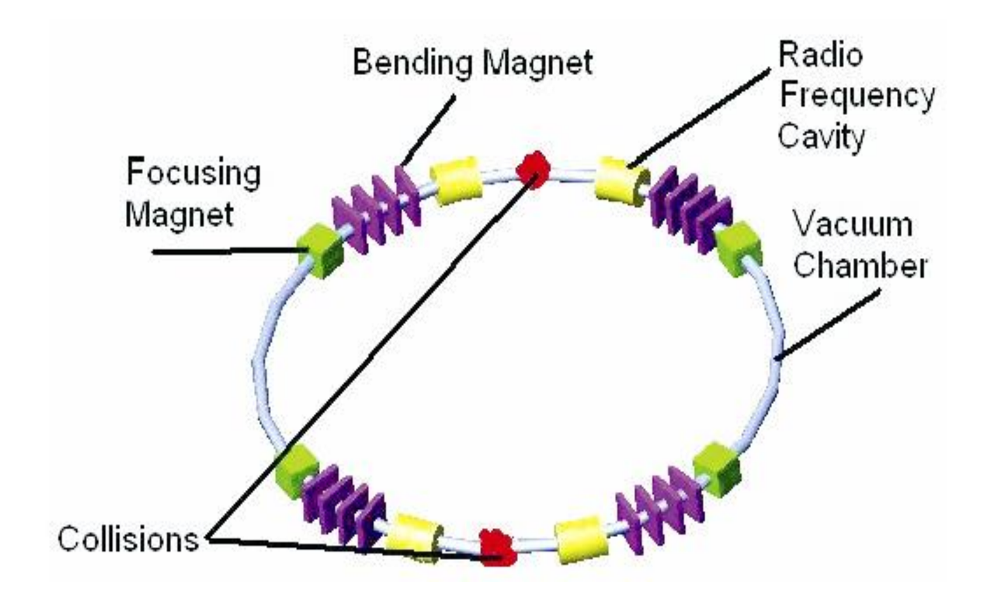
العديد من النظريات والتي تسمى نظريات التوحيد الكبرى Grand Unification Theories أو GUT تعرضت لتوحيد قوى *electroweak* مع القوى القوية. لكن للآن لم يعثر على دليل ملموس بالنسبة لهم، على المدى البعيد فإن عملية التوحيد منذ فترة طويلة وحدت قوى الجاذبية مع القوى الأخرى، وقد اجتهد اينشتاين ليضع قوى الجاذبية في نظام بحيث تتناسب مع نظرية الكم، نظرية للتناظر الفائق تتطلب مجموعة جديدة من الجسيمات لتكمل ما بعد النموذج القياسي، وشريك ثقيل لكل كوارك ولبتون وبوزون من النموذج القديم جنباً لجنب لتشكل عائلة من الجزيئات الفائقة super-family. وفي هذه النظرية تتساوى كل من القوى الثلاثة القوية والكهرومغناطيسية والضعيفة عند الطاقة العالية جداً. وبالطبع سوف تعطي التجربة خطوة جديدة للبحث عن جسيمات جديدة. ومن المحتمل أن يكون واحد من هذه الجسيمات الفائقة هو من البقايا البدائية في الانفجار

الأعظـم Big Bang والتـي يشـكل المـادة المظلمـة في الكـون، ويشـكل حـافزاً إضـافيا لاكتشاف هذه الأزواج الفائقة super-partners.

في ذات الوقت فإن الدراسات النظرية تبحـث عـلى نطـاق واسـع عـن نظريـة لكـل شيء (TOE) *Theory Of Everything*، والتي تشبه إلى حد كبـير نظريـة الأوتـار *String Theory* بحيث تصور الجسيمات حلقات متناهية في الصغر تهتـز في 10 أبعـاد. وكـذلك نظرية الغشاء *Membrane Theory* والتي تعتبر أن الكون بـأسره موجـود عـلى شـكل شرائــح متعــددة الأبعــاد مــن جســيمات تــدور في دورات ترتكــز عــلى الشر-يحة الأولى والجرافيتونات كنطاق للتواصل بين الشرائح وبانتظار اختبار هذه التوقعات.

تجارب فيزياء الجسيمات

من خلال تجارب الفيزياء، الاكتشافات المعملية، الأفكار النظرية والتفسيرات جميعا ترتبط ببعضها الـبعض، وفي بعـض الأحيـان تحـدث وثبـة في إحـداها لكـن سرعـان مـا تليهـا الأخريات. إن الطبعات الحديثة من جدول رذرفورد Rutherford الذي تم تجربتـه عـلى تشتت جسيمات ألفا لمسافات بعيدة تصـل للعديـد مـن الكيلـومترات، في جهـاز مكلـف ضخم في أنفاق تحت الأرض على طـول عشرـات الكيلـومترات. مـا تسـمى بمسرـعات الجسيمات، والتي تسرع البروتونات، البروتونـات المضـادة، الالكترونـات، والبوزونـات لتقترب من سرعة الضوء ثم تتصادم مع بعضها البعض أو مع أهداف ثابتة.



في المسرعات يتم تركيز مغانط، ومغانط منحنية لتوجه حزمة الجسيمات حول حلقة (في الشكل عدد قليل من المغانط المنحنية)، وتقوم تجاويف ذات ترددات عالية بأمواج ميكرونية (*RF*) بتسريع الحزم عند المرور من خلالها.

والمطلوب دائماً الحصول على طاقات أعلى وأعلى، لإيجاد زوج من الجسيمات الجديدة وملاحظتها وهي تبتعد، ويجب أن تتولد طاقة فائضة أكثر من أو تساوي ($2m_x$) للزوجين: $E_{collision} > 2m_x c^2$. والطاقة العالية كذلك تحتاج إلى مجس أعمق وأعمق لمقياس أصغر لدراسة ما هو غير معروف. وذلك يشبه استخدام أشعة اكس لأطوال موجية أقصر عند فحص تراكيب البلورات الأصغر. وللبحث عن ظاهرة نادرة فمن الضروري زيادة كثافة حزم الجسيمات ومعدلات التصادم. لذلك فإن المسرعات تتقدم بشكل موازٍ مع الطاقة الأعلى والكثافة الأعلى. ولملاحظة وتفسير نتائج التصادمات، فيجب تطوير كواشف الجسيمات لتساير عملية تحليل الجسيمات التي تبتعد وتختفي خلال

أجزاء من النانو ثانية. وتحتوي الكواشف على أنواع متعددة ومختلفة من الأجهـزة المعقـدة والالكترونيات التي تتطلب كادراً من الخبراء في التكنولوجيا للتعامـل معهـا. وتسـتخدم تجارب المصادم عدد كبير من الكواشف لتحـيط بشـكل كامـل "نقطـة التفاعـل" حيـث تتصادم الجسيمات ذات الطاقة العالية مع الجسيمات المضادة. يشمل النموذج مصـادمات الكترون – بوزيترون، مصادمات بروتـون – بروتـون مضـاد، وكـذلك عـلى الكواشـف الضخمة لنقاط الفاعل.

وفي تجارب أخرى تتم دراسة تجارب أخرى لتصادم حزم مكثفة مع أهداف صـلبة ثابتـة. ويشمل هذا النموذج العديد من التجارب مع حزم النيوترونات عالية الطاقة، وكواشـف ضخمة لكشف تفاعل النيوترونات. ويدرس العديد تحويل نوع من النيوترونات إلى نـوع آخر مثل (*muon-neutrino*) إلى نوع آخر مثـل (*tau-neutrino*). الـدليل عـلى ذلـك أصبح واضحاً بعد عقود من البحث والقياسات الدقيقة والتـي خفضـت كتلـة كـل مـن نيوترون الغير صفرية. إن وجود بقايا نيوترونات مـن الانفجـار الأعظـم والتـي توضـح الكون، وحتى الكتل الصغيرة جداً يمكن أن تفسر بعض من المادة المظلمة .

إن التقنية العلمية لمسر ـعات الجسـيمات والكواشـف تعتمـد وبشـدة عـلى التكنولوجيـا، تكنولوجيا أجهزة المواد الصلبة، المغانط فائقة التوصيل، الكترونيـات، حواسـيب ومـواد أخرى غريبة، وتلعب كلها دوراً في تطوير فيزياء الجسيمات التجريبيـة، وبعـض الأحيـان تؤدي إلى اختراعات.

بنيت كل هذه الكواشف المعقدة جداً وتمت عن طريق عدد كبـير مـن علـماء الفيزيـاء، في تنافسات بين 100 إلى 1000 شخص تقريباً. هذا التنافس يمتد إلى خارج نطـاق الدولـة، ويمثل نموذجاً لتزايد العلوم والتعاون والصداقة عبر الحواجز الوطنية والسياسية.

نظرة إلى المستقبل

إن أحد أهم الأهداف هو رفع مستوى مختـبر فيرمـي Fermilab بـالقرب مـن شـيكاغو التيفـاترون (the *Tevatron*)، وسـيرن في جينيـف في سويسرـا (مسـارع الهيـدروجين الكبير) هـو العثـور عـلى بـوزون هيجـز *Higgs boson*، العنصرـ المفقـود في النمـوذج القياسي Standard Model هو الدليل على الأزواج الفائقة التناظر للجسيمات المعروفـة وهو هدف كل التجارب كجزء من البحث عن نظرية حقيقية للجسيم مـا بعـد النمـوذج القياسي Standard Model. وبعد ذلك نحتاج للعثور على شيء يمكن أن يشير إلى نقطة توحيد حقيقية مع قوى التجاذب.

ويخطط عالميا لنوع مختلـف مـن مصـادمات $e^{+} e^{-}$، وهـو المصـادم الـدولي الخطـي the International Linear Collider أو ***ILC***، وهو عبارة عن مصادم خطي عالي الطاقة، من مسرعين خطيين متعاكسين على طول عشرات الكيلومترات. التحـديات لهـذه التقنيـة كثيرة والتي ستؤدي إلى تعاون حقيقي على مستوى العالم.

مراجع مفيدة

1. The Particle Odyssey: A Journey to the Heart of the Matter by Michael Marten, Christine Sutton, Frank Close. Oxford Press (2002)

2. The Charm of Strange Quarks : Mysteries and Revolutions of Particle Physics by R. Michael Barnett, Henry Muehry, Helen R. Quinn. American Institute of Physics, (2000)

موقع مفيدة

1. A Brief Introduction to Particle Physics

http://www.lns.cornell.edu/~nbm/NBM_INTRO_TO_HEP1.htm

2. Inquiring Minds (Fermi National Lab.)

http://www.fnal.gov/pub/inquiring/index.html

3. The World of Beams (Center for Beam Physics, Lawrence Berkeley Lab),

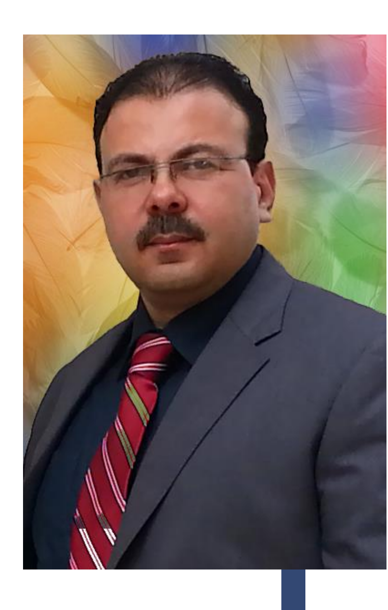
http://cbp-1.lbl.gov/

4. Big Bang Science, (Particle physics & Astronomy Research Council, UK)

http://hepwww.rl.ac.uk/pub/bigbang/part1.html

FOR A GLOSSARY OF TERMS, see:

http://www.particleadventure.org/particleadventure/frameless/glossary.html#top



د. حازم فلاح سكيك

استاذ الفيزياء المشارك بجامعة الازهر   غزة

- رئيس قسم الفيزياء بجامعة الازهر- غزة في الفترة 1993-1998
- مؤسس وعميد كلية الدراسات المتوسطة بجامعة الازهر- غزة من الفترة 1996-2005
- عميد القبول والتسجيل بجامعة الازهر- غزة في الفترتين 1998-2000 و2007-2008
- مدير الحاسب الالي بجامعة الازهر- غزة في الفترة من 1994-2000
- رئيس وحدة تكنولوجيا المعلومات بجامعة الازهر- غزة في الفترة من 2000-2005
- مؤسس موقع الفيزياء التعليمي
- مؤسس اكاديمية الفيزياء للتعليم الالكتروني
- مؤسس مركز الترجمة العلمي
- مؤسس قناة الفيزياء التعليمي على اليوتيوب
- مؤسس ورئيس تحرير مجلة الفيزياء العصرية



www.hazemsakeek.net